

CAPÍTULO VIII - 8. LOS PROCESOS DE DESALINIZACIÓN Y EL USO DE LA ÓSMOSIS INVERSA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROCESOS DE DESALINIZACIÓN	2
2.1. CON CAMBIO DE FASE.....	2
2.2. SIN CAMBIO DE FASE	2
2.2.1. <i>Clarificación y Filtración</i>	<i>2</i>
2.2.2. <i>Intercambio Iónico</i>	<i>3</i>
2.2.3. <i>Electrodialisis.....</i>	<i>3</i>
2.2.4. <i>Ósmosis Inversa.....</i>	<i>5</i>
3. ÓSMOSIS INVERSA	6
3.1. PRINCIPIOS DEL PROCESO	6
3.2. VARIABLES DEL PROCESO	9
3.2.1. <i>Expresiones Básicas</i>	<i>9</i>
3.2.2. <i>Dispositivos de Ósmosis Inversa.....</i>	<i>12</i>
3.3. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARTICULARES	16
3.3.1. <i>Membranas</i>	<i>16</i>
3.3.2. <i>Diseño de un Sistema de Ósmosis Inversa - Parámetros de Diseño</i>	<i>21</i>
3.3.3. <i>Bombas</i>	<i>22</i>
3.3.4. <i>Pretratamiento</i>	<i>23</i>
3.3.5. <i>Postratamiento</i>	<i>25</i>
3.3.6. <i>Parámetros a Controlar de un Sistema de Ósmosis Inversa</i>	<i>27</i>
3.3.7. <i>Mantenimiento de Plantas de Ósmosis Inversa.....</i>	<i>27</i>
3.3.8. <i>Fallas más Frecuentes en Sistemas de Ósmosis Inversa</i>	<i>28</i>
3.3.9. <i>Selección de Plantas de Ósmosis Inversa</i>	<i>30</i>
3.4. DISPOSICIÓN FINAL DEL CONCENTRADO	31

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Depósitos más frecuentes y tipos de soluciones químicas utilizadas.....	21
Tabla 2. Reducción de la producción de las membranas	28
Tabla 3. Reducción del rechazo salino.....	28
Tabla 4. Aumento de producción de las membranas	29
Tabla 5. Corte por baja presión	29
Tabla 6. Corte por alta presión en ósmosis inversa	30
Tabla 7. Corte por sobrecarga eléctrica	30

FIGURAS

Figura 1. Esquema de funcionamiento de una célula de electrodiálisis.....	4
Figura 2. Diagrama de flujo de placas en paralelo	5
Figura 3. Osmosis.....	6
Figura 4. Osmosis inversa	7
Figura 5. Mecanismo de rechazo salino por osmosis inversa.....	8
Figura 6. Rechazo de moléculas orgánicas por osmosis inversa	8
Figura 7. Efecto de la presión en la osmosis inversa	11
Figura 8. Efecto de la conversión en la eficiencia de la ósmosis inversa	11
Figura 9. Ilustración ósmosis inversa tubular	12
Figura 10. Desarrollo de la espiral modelo de membrana parcialmente enrollado.....	13
Figura 11. Detalle de un módulo.....	13
Figura 12. Colocación del módulo	14
Figura 13. Detalle de la fibra hueca.....	14
Figura 14. Ilustración del proceso de ósmosis inversa de fibra hueca.....	15
Figura 15. Corte de un módulo de fibra hueca	16
Figura 16. Producción en función de la temperatura – Membranas de ósmosis inversa	19

1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos y el régimen de precipitaciones en la República Argentina tienen la particularidad de distribuirse de forma muy irregular de modo tal, que las tres cuartas partes del territorio nacional son regiones áridas o semiáridas y otras presentan periódicamente, como en los casos del Litoral y la Pampa Húmeda, fenómenos de inundaciones.

Por otro lado, en las regiones áridas además de que los regímenes de lluvias son extremadamente bajos, y que en la mayoría de los casos no se cuenta con fuentes superficiales, las aguas de origen profundo, presentan en muchos casos altos valores de salinidad además de contaminantes naturales como arsénico y flúor, haciéndolas no aptas para consumo humano.

Este cuadro de situación se agrava aún más en el caso de poblaciones donde por la falta de un plan de administración de recursos, las únicas fuentes de abastecimiento se han ido salinizando por exceso de explotación. Otro fenómeno observado es la contaminación de las napas, debido a la falta de un sistema de eliminación de efluentes, tanto de origen domiciliario como industrial, por la percolación de los mismos a las capas inferiores, dando como resultado la aparición de contaminantes no propios de la fuente natural. Este hecho implica la necesidad de seleccionar tecnologías de tratamiento que puedan resolver adecuadamente dichos fenómenos de salinización.

Por las causas que brevemente se exponen, la variedad de situaciones que pueden presentarse hacen que para cada caso deba realizarse un análisis particular para poder realizar la selección de la tecnología más apropiada.

Se presenta en este Capítulo una breve descripción de las diferentes alternativas técnicas disponibles para la desalinización, considerándose en particular la tecnología de separación con membranas, por ser ésta adecuada en los casos que las fuentes de suministro con que se cuenta presenten altos niveles de salinidad como así también contaminantes orgánicos tanto de origen natural como producto de las descargas de efluentes.

Antes de entrar en el tema es importante diferenciar las aguas salinizadas en aguas “salobres” con menor salinidad (< 15000 mg/l) de las aguas “saladas” de alta salinidad (por ejemplo el agua de mar con un contenido de sales del orden de 35000 mg/l).

En la Argentina existen numerosos ejemplos de sistemas de tratamiento de desalinización de aguas salobres, de baja salinidad y para el tratamiento de flúor y/o arsénico mediante la tecnología de la Ósmosis Inversa, y uno de agua de mar para la provisión de agua potable a la localidad de Puerto Pirámide, Pcia. de Chubut.

2. PROCESOS DE DESALINIZACIÓN

2.1. CON CAMBIO DE FASE

Si bien existen procesos tales como el congelamiento, el proceso más aplicado para la desalinización de aguas es el de la destilación, en el cual la separación de iones se logra mediante la evaporación del agua y su posterior condensación.

A través de una fuente de calor se produce la concentración de las sales en el seno líquido mientras que el vapor producido, es condensado convenientemente, lográndose agua de muy alta pureza.

Los sistemas convencionales requieren de importantes consumos de energía para su operación.

Los sistemas de evaporación por vacío o termocompresión, son energéticamente más económicos pero requieren altos costos de inversión. Su utilización, para tamaños de plantas medianos o pequeños, sólo es considerada cuando el agua a tratar posee salinidades iguales o superiores a la de agua de mar (STD 35.000 ppm).

2.2. SIN CAMBIO DE FASE

2.2.1. Clarificación y Filtración

Los procesos de coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección han sido ampliamente utilizados para el tratamiento de aguas de origen superficial. Básicamente se busca abatir los coloides y materia orgánica en suspensión. En estos procesos el contenido de sólidos solubles permanece casi inalterable.

Sin embargo este tipo de procesos puede ser combinado con etapas de ablandamiento mediante cal-soda, cuando la fuente de provisión presenta muy altos valores de dureza.

Otros elementos posibles de abatir, mediante procesos combinados de oxidación y sedimentación, son el hierro, manganeso, arsénico y flúor, que pueden estar presentes en aguas de origen superficial o subterránea. Básicamente se trata de lograr que las especies presentes formen óxidos o hidróxidos insolubles, que luego puedan ser sedimentados y posteriormente retenidos en filtros de granulometría adecuados. La oxidación puede ser llevada a cabo mediante oxigenación o cloración. En estos casos se trata exclusivamente de eliminaciones de estos elementos.

Todos estos temas han sido desarrollados detalladamente en otros numerales de este mismo Capítulo.

2.2.2. Intercambio Iónico

Esta tecnología permite solamente la remoción de sólidos solubles, o sea sales en forma iónica. Si la fuente de provisión presenta además sólidos insolubles, tanto particulados o coloidales, se deben considerar otras etapas de pretratamiento para su remoción.

El intercambio iónico* utiliza resinas poliestirénicas, acrílicas u otras, cuyos grupos funcionales carboxílicos, sulfónicos o aminos son los responsables del proceso de intercambio de iones.

Tal como su nombre lo indica se trata de un proceso por el cual los iones en solución son intercambiados genéricamente por hidronios y oxidrilos dando como resultado agua con muy bajo contenido de sólidos solubles. Las resinas se agotan luego de procesado un volumen de agua (autonomía) para el cual fue diseñado el equipo en función de la composición del agua a tratar. Como consecuencia de ello, las mismas se regeneran con soluciones de ácidos y álcalis respectivamente, generando efluentes y costos operativos, que se deberán considerar al momento de la evaluación de un proyecto.

Esta tecnología puede ser aplicada para la eliminación de iones específicos como por ejemplo, nitratos, con resinas de tipo aniónico (grupos funcionales amino) en ciclo cloruro, o reducción de dureza, con resinas catiónicas en ciclo sodio.

En la práctica se ha demostrado que la utilización de esta tecnología no es adecuada para la desalinización cuando se debe tratar aguas de contenidos salinos superiores a 1.500 ppm, debido a que mayores salinidades aumentan sensiblemente los costos de regeneración y dimensionamiento de los equipos, la autonomía entre regeneraciones resultan cortas y se hace más compleja la operación.

2.2.3. Electrodialisis

El método de desalinización de agua por electrodialisis* se basa en el principio de que las sales en solución en el agua se disocian en iones positivos (cationes) y negativos (aniones) y que al pasar por la solución una corriente eléctrica continua utilizando dos electrodos, los iones se orientan hacia los polos opuestos a sus cargas.

Mediante el uso de membranas selectivas semipermeables, aplicando el principio de electrodialisis se puede lograr la desmineralización del agua salina, al separarla en dos corrientes, una de menos contenido salino que el agua de alimentación que se denomina agua desmineralizada o agua producto y otra de mayor contenido salino que el agua de alimentación, que se denomina agua concentrada o agua de desecho.

Si se aplica un potencial de corriente continua a una solución salina sumergiendo en la misma dos electrodos, los cationes se mueven hacia el electrodo negativo o cátodo y los aniones hacia el electrodo positivo o ánodo.

* Ver en este mismo numeral, el tema "Utilización de Membranas y Alternativas para la Desalinización".

Membranas aniónicas y catiónicas

El fenómeno de orientación y movimiento de iones se puede aprovechar si se dispone de barreras adecuadas para aislar la zona donde se produce la emigración de los iones, de modo que se evite su nueva mezcla. Para ello se han desarrollado dos tipos de membranas que pueden utilizarse como barreras:

- 1). una membrana catiónica que permite solo el paso de cationes
- 2). una membrana aniónica que permite solo el paso de aniones.

En la **Figura 1** se muestra un esquema de funcionamiento de este tipo de procesos.

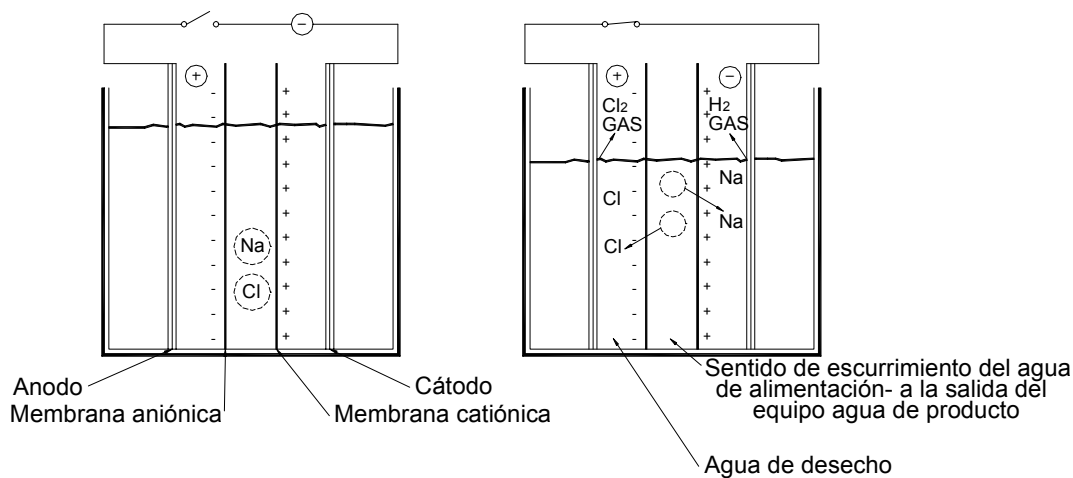


Figura 1. Esquema de funcionamiento de una célula de electrodiálisis

La introducción de una membrana catiónica y una aniónica para formar compartimentos, cuando el agua fluya continuamente y se cierre el circuito, produce la desalinización en el compartimento central.

En caso de tener una solución de cloruro de sodio disuelta en el agua, los cationes y aniones se mueven libremente, al cerrarse el circuito, los cationes (Na^+), se mueven hacia el cátodo y los aniones (Cl^-) hacia el ánodo. El Na no puede pasar a través de la membrana aniónica ni el Cl hacerlo a través de la catiónica.

En la **Figura 2** se indica el diagrama de flujo de una instalación conformada por una serie de placas en paralelo (pilas de membranas).

Los resultados esperables son una reducción del 80 al 90% de los sólidos disueltos y un agua de producto del orden del 85% del agua de alimentación. Solo los iones se eliminan, las bacterias y coloides presentes en la alimentación quedarán en la corriente de producto.

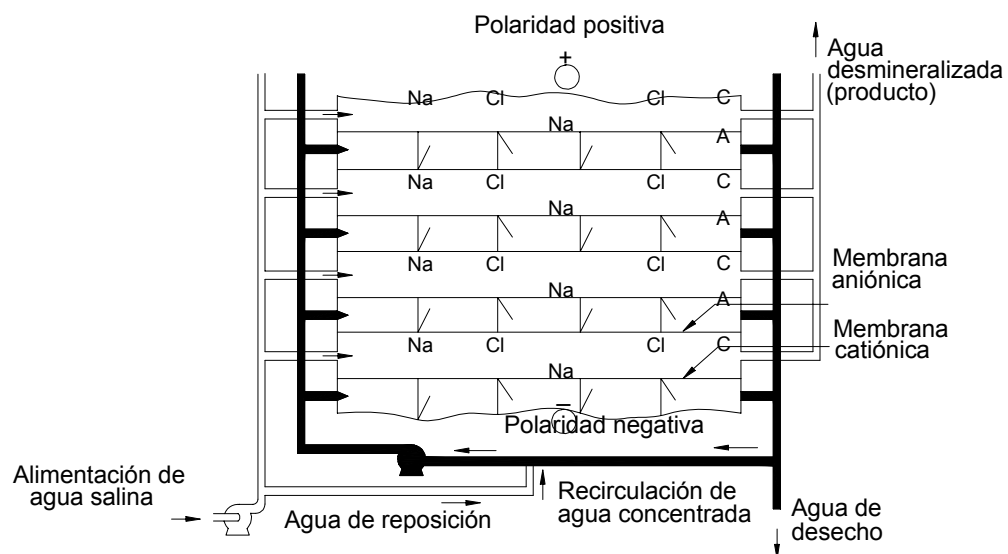


Figura 2. Diagrama de flujo de placas en paralelo

2.2.4. Ósmosis Inversa

El tema por su importancia se trata por separado en el numeral 3 del presente Capítulo.

3. ÓSMOSIS INVERSA

3.1. PRINCIPIOS DEL PROCESO

El principio de la ósmosis es conocido por los físico-químicos desde hace muchos años. Si se coloca agua pura en un recipiente y en otro compartimento del mismo se coloca una solución de sales, separándolas una membrana semipermeable, la diferencia de concentraciones hace que el agua pura se difunda a través de la membrana y diluya la solución, produciéndose una diferencia de presión entre ambos compartimentos.

Este fenómeno se conoce como ósmosis y la diferencia de presión así creada se le llama presión osmótica.

Aunque las membranas semipermeables perfectas tienen la característica de permitir que el agua pase por ellas, las mismas constituyen una barrera que impide que las sales disueltas en el segundo compartimento fluyan a través de la membranas, con el resultado de que el agua pura del otro compartimento permanece descontaminada.

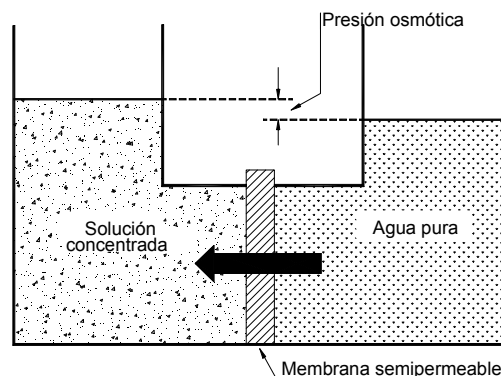


Figura 3. Ósmosis

La **Figura 3** ilustra una simple célula osmótica en la cual el agua fluye a través de la membrana y diluye la solución concentrada en el otro lado. Cuando se logra equilibrio en la célula, la altura de la solución concentrada con respecto del nivel de agua pura en el otro lado de la membrana, es igual a la presión osmótica creada por el fenómeno de ósmosis.

La ósmosis es un proceso reversible, por el cual si se actúa con una presión externa mayor que la presión osmótica natural, producida por la diferente concentración de las dos soluciones de los compartimentos, el flujo del agua a través de la membrana semi-permeable es invertido, produciéndose un aumento de volumen de agua pura. Debido a que las sales disueltas no pasan a través de la membrana, esta solución se hace cada vez más concentrada en relación a la solución original. El mecanismo de la ósmosis inversa se indica en la **Figura 4**.

Si a la celda que contiene la solución concentrada se le aplica una presión mayor a la presión natural osmótica opuesta, entonces ocurre un flujo de agua pura a través de la membrana hacia el compartimento de agua pura y como consecuencia de ello, se produce un aumento de la salinidad de la solución más concentrada.

Sin embargo aún conociendo desde hace tiempo la propiedad de estos sistemas de producir agua purificada, en la práctica se tuvieron que resolver innumerables problemas de ingeniería y de materiales de construcción antes de que se pudiera utilizar económicamente la aplicación práctica del principio de la ósmosis inversa.

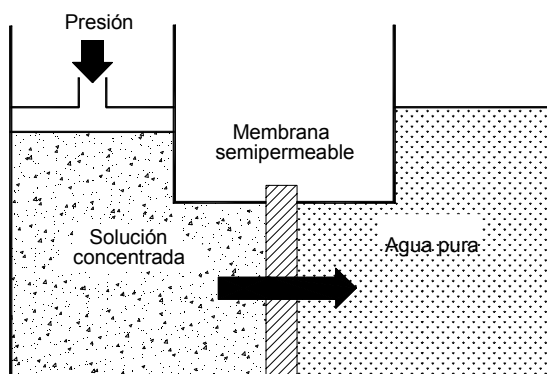


Figura 4. Ósmosis inversa

El proceso, basado en el uso de membranas asimétricas semipermeables, constituye una operación unitaria implementada para la separación de sólidos disueltos, donde la transferencia de masa se realiza a temperatura ambiente, en ausencia de potenciales eléctricos y sin necesidad de regeneración. Las membranas empleadas poseen innumerables poros submicrónicos, cuyos diámetros suelen variar entre 5 y 20 Angstrom.

A diferencia de una filtración convencional que posee dos corrientes (alimentación y permeado), la ósmosis inversa es un proceso de tres corrientes: alimentación, permeado y efluente o concentrado.

El rechazo de iones es provocado por el gradiente de concentración existente en la interfases membrana-solución y sus consecuentes interacciones dieléctricas. Esta repulsión de sales, en la superficie de la membrana, origina una capa de agua pura que se extiende a través de los poros. El rechazo salino logrado es superior al 99 % al NaCl, para el caso de membranas utilizadas en la desalinización de agua de mar. (Ver **Figura 5**).

En la capa inmediatamente superior a la membrana de ósmosis inversa se genera una zona de agua pura (zona de agua sin sales que son repelidas hacia el seno de la solución), de aproximadamente 10 nm de espesor.

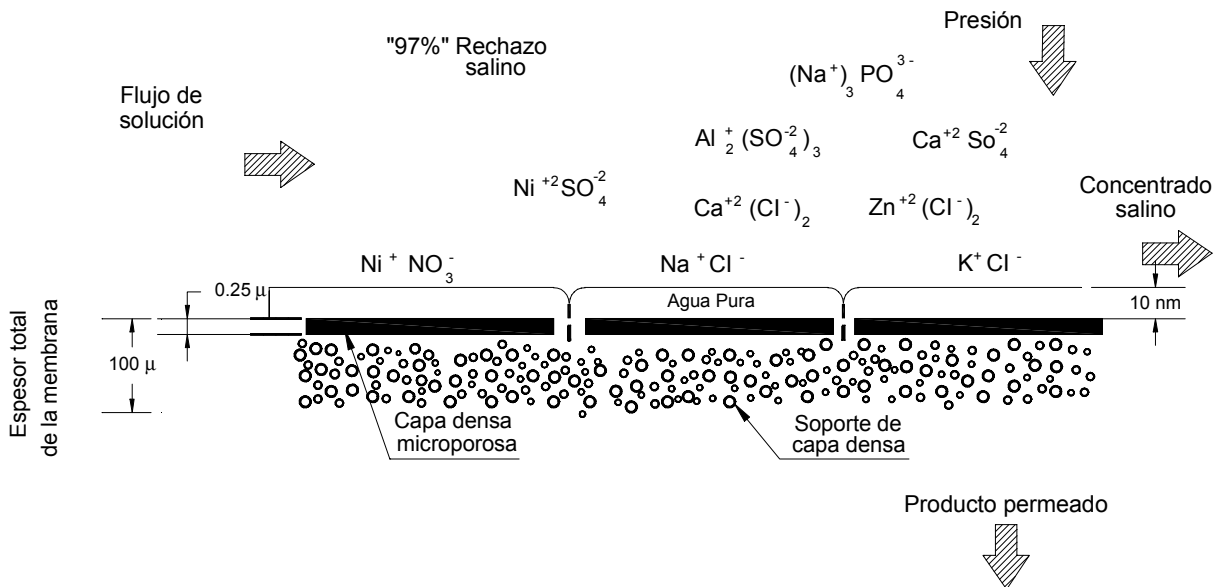


Figura 5. Mecanismo de rechazo salino por ósmosis inversa *

Las sustancias orgánicas, sin carga neta, son separadas fundamentalmente por filtrado mecánico, en cuyo caso los grados de selectividad dependen casi exclusivamente del tamaño molecular. Las moléculas orgánicas de peso molecular por encima de 200 PM son rechazadas por simple efecto de tamiz. Ver **Figura 6**.

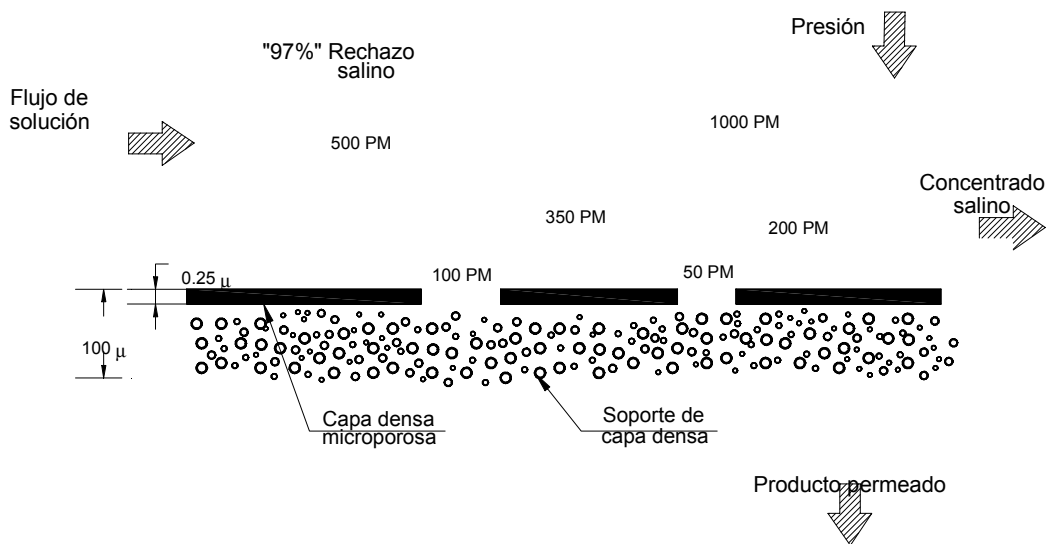


Figura 6. Rechazo de moléculas orgánicas por ósmosis inversa

* Las medidas se indican al solo efecto de visualizar espesores relativos de cada capa. No constituyen medidas precisas, dependen de cada fabricante y modelo particular de membrana.

La estructura polimérica y su tamaño de poro, 100 veces menor que el de un filtro absoluto*, le permiten a las membranas de Ósmosis Inversa eliminar virus, bacterias, pirógenos y coloides presentes en la solución a tratar. De esta forma, se puede producir agua libre de pirógenos y microorganismos.

3.2. VARIABLES DEL PROCESO

3.2.1. Expresiones Básicas

En una primera aproximación, dos ecuaciones definen el pasaje de solvente (agua) y soluto (sólidos disueltos) a través de una membrana semipermeable:

$$Q_w = K_w (\Delta P - \Delta \Pi) A / t \quad (1)$$

$$Q_s = K_s (\Delta C) A / t \quad (2)$$

Q_w = Flujo de agua a través de la membrana.

Q_s = Flujo de sal a través de la membrana.

K_w = Coeficiente de permeabilidad de la membrana para el agua.

K_s = Coeficiente de permeabilidad de la membrana para las sales.

ΔP = Presión diferencial aplicada.

$\Delta \Pi$ = Presión osmótica diferencial.

ΔC = Diferencial de concentración de la solución.

A = Área de la membrana.

t = Espesor de la membrana.

Estas dos ecuaciones muestran que el flujo de agua a través de la membrana es proporcional a la presión diferencial aplicada a través de la membrana (para muchas aplicaciones podemos despreciar la presión osmótica, porque ella alcanza solamente un valor muy pequeño comparada con la presión aplicada) y el flujo de sales a través de la membrana es proporcional al diferencial de concentración a través de la membrana.

Dos términos usados para describir el proceso son “conversión” y “pasaje de sales”.

La “recuperación” o “conversión” se define mediante la ecuación:

* Filtro absoluto, presenta una porosidad de 0,2 μ , se emplea habitualmente en la industria farmacéutica para retener bacterias.

$$Y = \frac{Q_{(prod)}}{Q_{(alim)}} \cdot 100 \quad (3)$$

donde: Y = % de conversión o recuperación

$Q_{(prod)}$ = caudal producido

$Q_{(alim)}$ = caudal de alimentación

Esto simplemente significa que si operamos a una conversión del 75%, de 100 litros de agua de alimentación produciremos 75 litros de agua pura y 25 litros de corriente de rechazo que contiene las sales disueltas.

Es deseable la operación a altos porcentajes de recuperación, porque los costos de bombeo son más bajos y menores las pérdidas de agua en la corriente de rechazo. La recuperación a la que puede funcionar un sistema de ósmosis inversa depende de la concentración de especies químicas presentes en el agua cruda, que pueden alcanzar su producto de solubilidad en la superficie de las membranas, produciéndose la formación de precipitados, en algunos casos de muy difícil remoción. Recuperaciones del orden de 75 – 80 % son deseables; sin embargo, a veces es necesario operar con conversiones más bajas. Hay áreas donde la composición del agua de alimentación puede forzar niveles de conversión tan bajos como 30 – 40 %.

El término “pasaje de sales” se define por la ecuación:

$$P \% = \frac{C_{(prod)}}{C_{(alim)}} \cdot 100 \quad (4)$$

donde: P = pasaje de sales.

$C_{(prod)}$ = concentración de sales (sólidos disueltos expresados en $\mu\text{S}/\text{cm}$ o mg/l . de los iones totales presentes) en el caudal producido.

$C_{(alim)}$ = concentración de sales en el caudal de alimentación.

A menudo se usa el término “rechazo de sales”. Este es simplemente igual a 100 menos el “pasaje de sales”, o sea:

$$R \% = \frac{C_{(alim)} - C_{(prod)}}{C_{(alim)}} \cdot 100$$

De las ecuaciones (1) y (2) resulta que la productividad de agua es proporcional a la presión diferencial aplicada y el flujo de sales no. La **Figura 7** muestra el efecto de una reducción de presión en la performance de un dispositivo de ósmosis inversa. Aplicando una presión de alimentación decreciente a partir de un punto dado de funcionamiento de la instalación se produce una disminución del caudal de producto y un incremento en el pasaje de sales. El incremento del pasaje de sales no contradice el principio básico que el flujo de sales es independiente de la presión aplicada. El incremento resulta

simplemente de que menos agua atraviesa la membrana a presiones reducidas y consecuentemente las sales que atraviesan la membrana y salen con el permeado se encuentran menos diluidas.

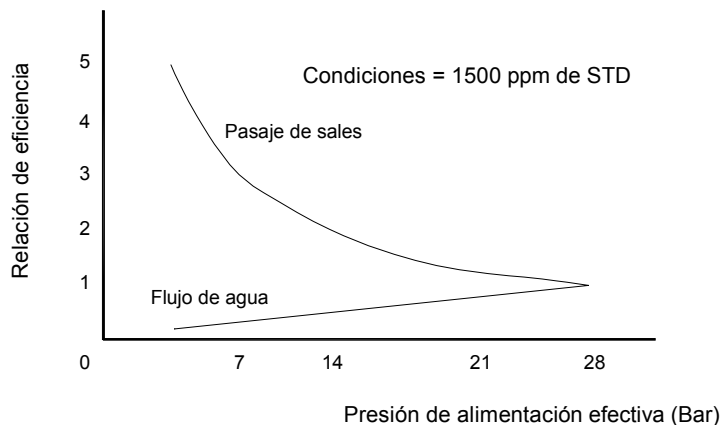


Figura 7. Efecto de la presión en la ósmosis inversa

El nivel de conversión seleccionado en el diseño de la planta afectará en cierto grado la performance en términos de pasaje de sales como se muestra en la **Figura 8**.

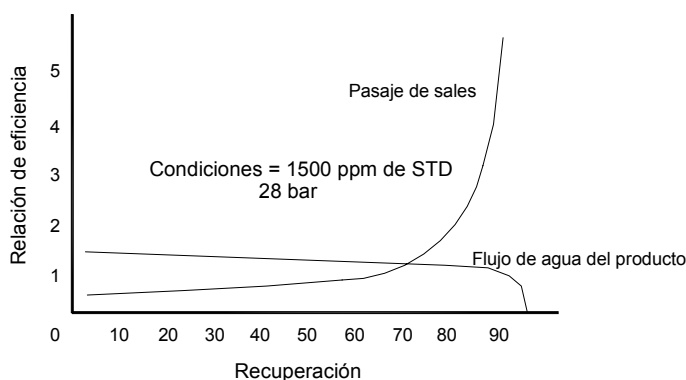


Figura 8. Efecto de la conversión en la eficiencia de la ósmosis inversa

A medida que se incrementa la conversión, la corriente salobre se hace más concentrada (alrededor del doble de la concentración de la corriente de alimentación a una conversión del 50% y cerca de 10 veces la concentración de la corriente de alimentación a una conversión del 90%) lo que a su turno incrementa la concentración de lo que la membrana “ve” en el lado de la alimentación salobre y la fuerza de arrastre de sales. A muy altos niveles de conversión –en exceso de 80%- la presión osmótica de la corriente de alimentación se hace significativa y se puede esperar algún decrecimiento en el caudal producido a causa de la reducida fuerza de arrastre. (Como se definió en la

Ecuación 1, el caudal producido es proporcional a la presión diferencial aplicada menos la presión osmótica diferencial).

O sea que al incrementarse la recuperación se incrementa la eficiencia en el pasaje de sales (pasa menor cantidad) y el flujo de agua de producto disminuye.

3.2.2. Dispositivos de Ósmosis Inversa

El problema básico al construir un dispositivo de ósmosis inversa, o una parte del equipo que use una membrana semipermeable, sin resistencia mecánica propia para que sea atravesada por el agua de producto. El caudal de agua a través de la membrana es directamente proporcional al área de la membrana e inversamente proporcional al espesor. Por lo tanto es obviamente deseable encontrar algún medio de disponer el área mayor posible de la más delgada membrana. Esta consideración y otras de diversos grados de importancia llevaron a lo largo del tiempo al diseño de tres dispositivos:

- 1). Dispositivo tubular
- 2). Dispositivo en espiral
- 3). Dispositivo de fibra hueca fina

Dispositivo tubular

El dispositivo más simple para entender y el primero desarrollado entre los dispositivos comerciales, es el tubular ilustrado en la **Figura 9**.

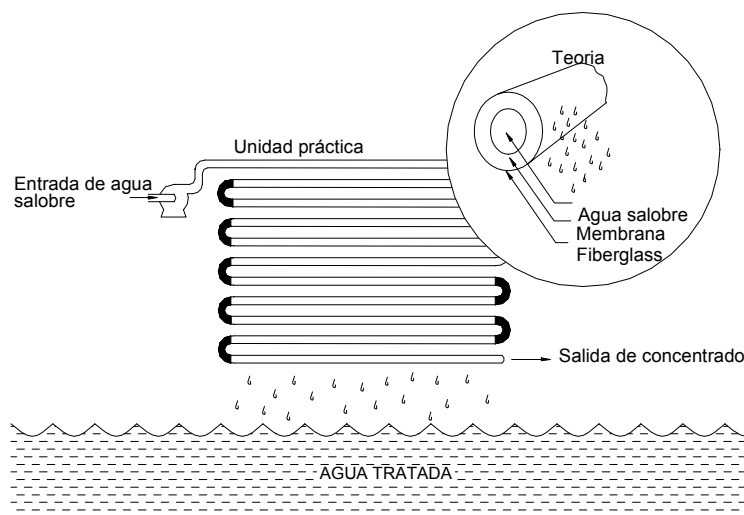


Figura 9. Ilustración ósmosis inversa tubular

La membrana semipermeable es insertada o pegada sobre un tubo poroso que es diseñado para soportar la presión de operación. El agua de alimentación bajo presión es introducida por un extremo del tubo y el agua producida pasa a través del tubo y la

membrana y es recogida en el exterior. El concentrado escapa por el otro extremo del tubo. Este dispositivo obtuvo algún éxito comercial durante los años 60 y un número de sistemas fueron instalados especialmente en aplicaciones no dedicadas a la obtención de agua potable, tales como separaciones químicas y fabricación de alimentos y drogas. En general el costo de tales sistemas, a causa de la pequeña área de membrana por unidad de volumen del contenedor, los hizo prohibitivos para tratamiento de aguas.

Dispositivo en espiral

El dispositivo en espiral desarrollado posteriormente fue un gran paso adelante en el esfuerzo de obtener grandes áreas superficiales por unidad de volumen contenido. El dispositivo se ilustra en la **Figura 10**.

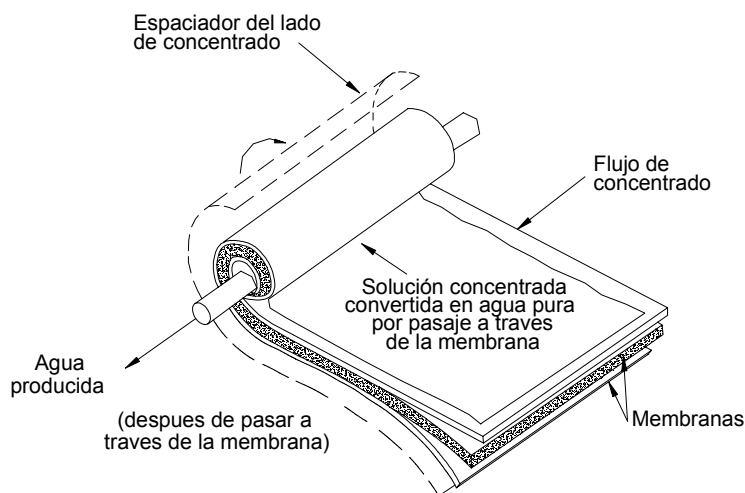


Figura 10. Desarrollo de la espiral modelo de membrana parcialmente enrollado

La unidad utiliza una hoja de membrana soportada en ambas caras por un material poroso usado para distribución del caudal y soporte de la membrana. Esta es pegada en tres lados formando un sobre y enrollado como una venda en espiral.

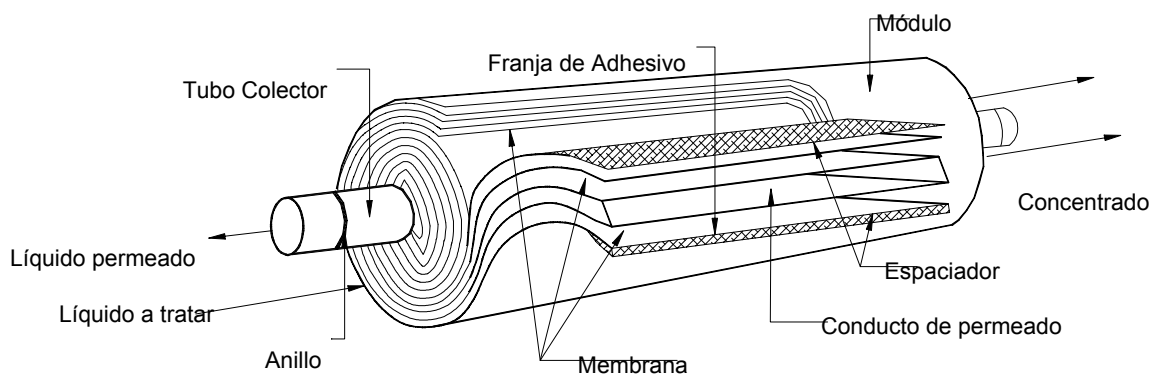


Figura 11. Detalle de un módulo

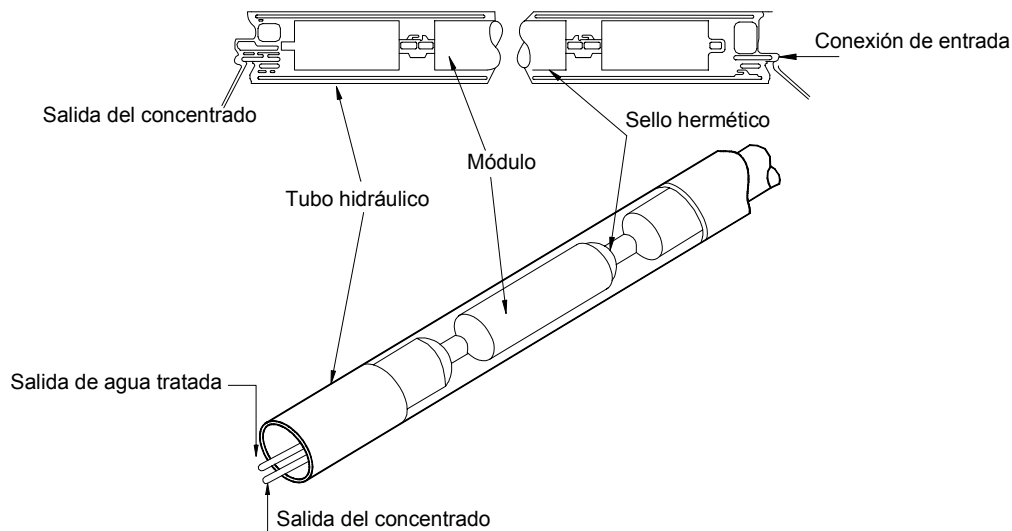


Figura 12. Colocación del módulo

Dispositivos de fibra hueca fina

A principios de la década del 70 apareció en el mercado el módulo de fibra hueca fina. Este nuevo dispositivo y la membrana aramídica resultaron un avance en la tecnología de este proceso. La **Figura 13** muestra la naturaleza asimétrica de esta membrana. Las fibras son asimétricas en el sentido de tener una muy delgada y densa en la cara exterior de la misma, que inhibe el pasaje de sales pero deja pasar libremente el agua. En la cara interior hay una capa espesa y porosa que sirve como soporte para la capa activa, pero a causa de presentar poros mucho más abiertos, no impide el flujo de agua a la parte hueca de la fibra.

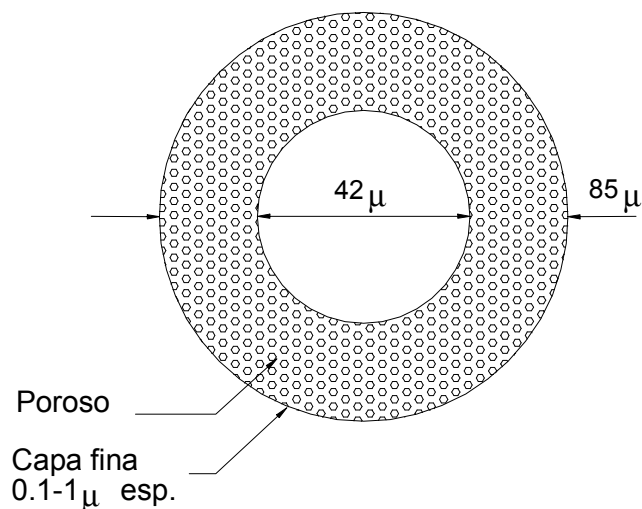


Figura 13. Detalle de la fibra hueca

Las fibras huecas son membranas de autosoporte y son realmente cilindros de paredes gruesas. Como la relación del diámetro exterior al interior es 2 a 1, estas fibras tienen la fuerza necesaria para soportar altas presiones de operación sin aplastarse.

A causa de sus pequeños diámetros, el uso de fibras huecas permite el desarrollo de un dispositivo muy compacto, con una gran área superficial para el pasaje del agua. Por ejemplo, la relación de las áreas disponibles para un mismo volumen son las siguientes:

Área de membrana por unidad de volumen (superficie de membrana por volumen similar de módulo)		
Tubular	Espiral	Fibra hueca
100	300	5000

La **Figura 14** ilustra el principio de un dispositivo de ósmosis inversa de fibra hueca.

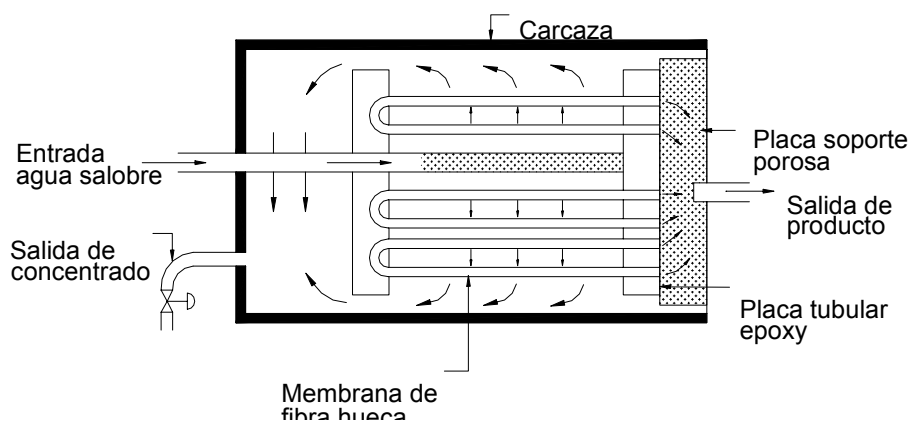


Figura 14. Ilustración del proceso de ósmosis inversa de fibra hueca

Frecuentemente se usa la analogía de un intercambiador de calor de tubos y placa para describir un módulo de fibra hueca. Si uno visualiza las fibras huecas como los tubos del intercambiador de calor, el agua de alimentación está alrededor de la parte externa de los tubos (lado de la carcasa). El agua de producto es impulsada a través de las paredes de las fibras (los tubos) por la alta presión de operación y fluye a lo largo de los tubos y hacia fuera a través de la placa que sostiene los tubos. El concentrado sale por el lado de la carcasa.

Módulo de fibra hueca

La **Figura 15** ilustra un Permeator. El agua de alimentación a presión, entra al módulo a través de un distribuidor altamente poroso ubicado en el centro del mismo. Este distribuidor ocupa prácticamente toda la longitud del módulo.

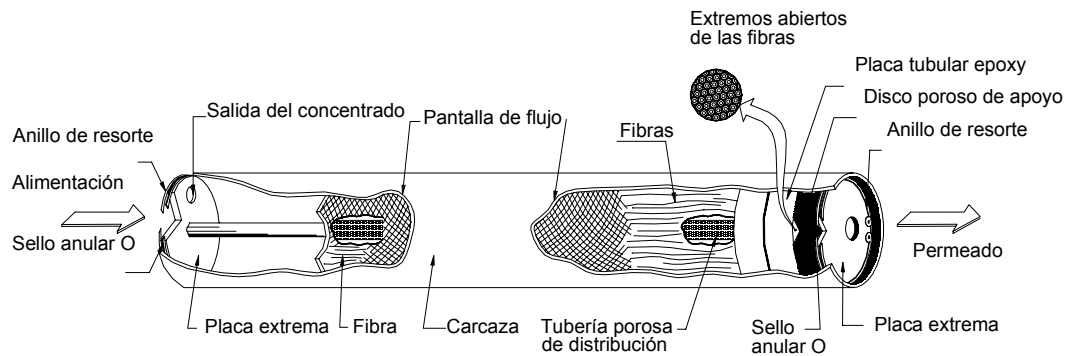


Figura 15. Corte de un módulo de fibra hueca

El agua se mueve radialmente bajo la presión del distribuidor hacia la carcasa exterior del dispositivo.

La presión fuerza al agua pura a través de las paredes de las fibras hasta el hueco de las mismas, y esta agua se mueve a lo largo de la parte hueca hasta el extremo de la “placa de tubos”, donde las fibras han sido cortadas para permitir la salida del agua pura. Las sales, minerales y otros contaminantes que quedan en el agua se mueven hacia el perímetro exterior y salen del módulo a través del escape del concentrado.

3.3. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARTICULARES

3.3.1. Membranas

Los desarrollos alcanzados en la tecnología de membranas* permiten lograr disminuciones en el contenido salino que pueden llegar a más de un 99 % para algunos iones específicos, y permiten también la eliminación de tóxicos tales como el arsénico y flúor. En ambos casos se logra eliminar de un 98 a 99 % de dichos elementos.

Las membranas más comúnmente utilizadas para la desalinización de agua para uso potable, son las poliamídicas de diseño espiral de film compuesto.

La selección del tipo de membranas a utilizar en un sistema de ósmosis inversa depende de dos parámetros:

- el contenido total de sales solubles (TSD)

* Ver también el tema “Utilización de Membranas y Alternativas para la Desalinización” en este mismo capítulo de las Fundamentaciones.

- el caudal a tratar.

Desde el punto de vista del TSD se pueden agrupar las membranas en dos grupos principales:

- **para aguas salobres**
- **para agua de mar**

Dentro de las membranas del primer grupo se pueden encontrar dos tipos a saber :

- de alto rechazo
- de baja presión

Las de baja presión permiten lograr alta calidad de producto trabajando a presiones sensiblemente menores a las de alto rechazo, permitiendo un importante ahorro de energía eléctrica, cuando la presión osmótica de la solución a tratar así lo permite.

El caudal a tratar es otra variable importante a tener en cuenta para la selección del tipo de membranas a utilizar. Los equipos disponibles en el mercado para este tipo de aplicación se presentan básicamente en dos tamaños de 4 y de 8 pulgadas de diámetro y 40 pulgadas de longitud en ambos casos. Las de 8 pulgadas presentan una superficie cuatro veces mayor que las de 4, lo que es equivalente a la relación de caudales a tratar.

Los valores nominales de rendimiento de las membranas de ósmosis inversa, dados por los fabricantes, están caracterizados por dos parámetros principales, el caudal de permeado y el rechazo salino. El caudal es expresado habitualmente en m³/h y el rechazo expresado en %. La producción nominal está dada bajo condiciones de ensayo standard de acuerdo a las siguientes condiciones:

Membranas para aguas salobres

Contenido total de sales solubles (TSD)	15000 ppm de Cloruro de sodio
Temperatura	25 °C
Presión de alimentación*	10,5 Bar ; 16 Bar
Recuperación	15 %

En estas condiciones el rechazo salino es del orden de 99 %

Membranas para aguas saladas

TSD	hasta 35.000 ppm de Cloruro de sodio
Temperatura	25 °C
Presión de alimentación	56 Bar

* El primer valor corresponde a membranas de baja presión y el segundo para las de alto rechazo.

Recuperación 7 %

En estas condiciones el rechazo salino es del orden de 99 %.

Rendimiento de las membranas

Los factores que afectan el rendimiento de las membranas de ósmosis inversa son:

- Salinidad del agua cruda
- Presión aplicada
- Temperatura
- Recuperación
- Tiempo de uso (envejecimiento)

La presión osmótica del agua de alimentación es directamente proporcional a la salinidad de la misma. El caudal permeado es proporcional a la diferencia de presión neta (ΔP) entre la presión aplicada y la presión osmótica por lo que a mayor salinidad se requiere aplicar una mayor presión.

La salinidad del permeado es proporcional al promedio de la salinidad del agua de alimentación en la superficie de la membrana. De aquí que, un incremento en la salinidad del agua de alimentación se corresponderá con un aumento de la salinidad del producto.

La presión aplicada afecta como se dijo la fuerza impulsora (ΔP), lo que a su vez afecta el caudal del permeado. Sin embargo, la presión de la alimentación no afecta el transporte de sales a través de las membranas. Por lo tanto, un aumento de la presión producirá una producción mayor de permeado de una menor salinidad (dilución).

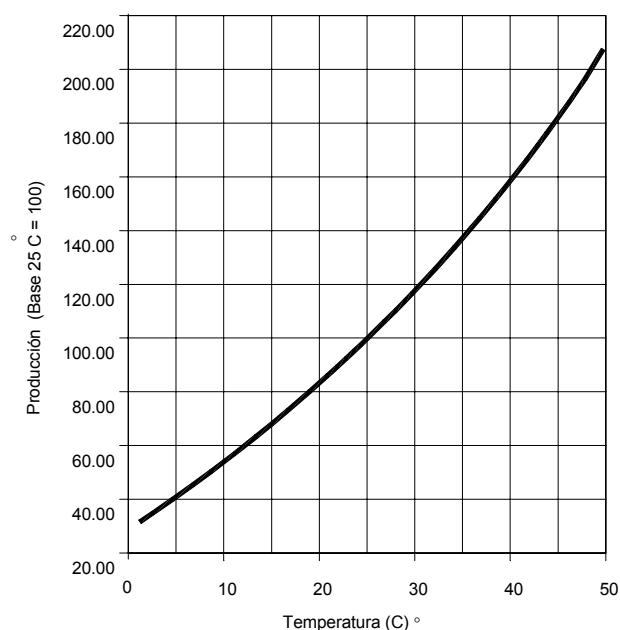


Figura 16. Producción en función de la temperatura – Membranas de ósmosis inversa

La temperatura afecta la velocidad de difusión de agua y sales a través de la membrana semipermeable. La variación de caudal del permeado con la temperatura es de aproximadamente 3% por °C (ver **Figura 16**). Como los sistemas están diseñados para un caudal de producto constante cambios en la temperatura son compensados por una variación de la presión, por lo que un aumento de la temperatura implicará una disminución de la presión y por lo tanto un mayor pasaje de sales hacia el permeado como se observa en la **Figura 7**.

La máxima recuperación a la que puede trabajar un sistema de ósmosis inversa está limitada principalmente por la composición del agua a tratar. Un valor muy alto de recuperación puede dar como resultado la formación de incrustaciones sobre la superficie de las membranas, debido a que algunas sales pueden alcanzar su producto de solubilidad. Para aguas muy salinas como las de mar un aumento de la recuperación implicará un aumento de la presión osmótica y por lo tanto de la presión a aplicar.

A medida que las membranas operan se van produciendo cambios en su estructura física y en la superficie de las mismas. Como resultado de la presión aplicada la membrana va sufriendo un proceso de compactación y se torna menos permeable al pasaje de agua y sales. Ciertas partículas coloidales o sales solubles pueden depositarse en la superficie durante la operación (fenómeno de "fouling" o ensuciamiento). El caudal del permeado, el rechazo y la hidrodinamia de las membranas pueden ser afectados en distintos grados, dependiendo de la naturaleza y extensión del depósito.

Limpieza de membranas

La remoción de depósitos se puede lograr mediante lavado químico o cambiando las condiciones operativas. En forma genérica se requerirá realizar una limpieza de las membranas cuando ocurra alguna de las siguientes situaciones:

- El caudal del permeado ha caído en un porcentaje de 10 a 15 %, a la presión de operación normal.
- Se ha incrementado la presión o la temperatura de 10 a 15 %, para mantener el caudal de permeado.
- La eliminación de sales ha disminuido de 10 a 15 %.
- La pérdida de carga a través del sistema de membranas se ha incrementado en forma significativa.

En la **Tabla 1** se indican los depósitos más frecuentes y el tipo de soluciones químicas habitualmente utilizadas.

Tipo de depósito	Efecto	Tipo de solución
Sales inorgánicas, carbonato de calcio, sulfato de calcio, etc.	Marcada disminución del rechazo y moderado incremento del ΔP entre la alimentación y el concentrado. Leve disminución de la producción	Acidos inorgánicos fuertes
Óxidos metálicos	Disminución rápida del rechazo salino y un rápido incremento del ΔP entre la alimentación y el concentrado	Acidos inorgánicos
Mezcla de coloides (hierro, orgánicos y silicatos)	Imperceptible disminución del rechazo y gradual incremento del ΔP entre la alimentación y el concentrado. Gradual disminución de la producción.	Solución alcalina
Sílice	Disminución rápida de la producción y del rechazo. Aumento rápido del ΔP entre la alimentación y el concentrado	Mezcla de ácido cítrico y fluoruro de amonio
Depósitos orgánicos	Posible disminución del rechazo salino y gradual aumento del ΔP entre la alimentación y el concentrado. Gradual disminución de la producción	Mezcla de solución alcalina y acomplejantes orgánicos
Biopelícula	Posible disminución del rechazo salino y marcado aumento del ΔP entre la alimentación y el concentrado. Marcada disminución de la producción	Mezcla de solución alcalina y acomplejantes orgánicos

Tabla 1. Depósitos más frecuentes y tipos de soluciones químicas utilizadas

3.3.2. Diseño de un Sistema de Osmosis Inversa - Parámetros de Diseño

El principal objetivo del diseño de un sistema es especificar los parámetros del mismo que den como resultado la mejor solución técnica al menor costo de inversión y costos operativos menores. Esto es lograr el mayor caudal del permeado y la mejor calidad a la mayor recuperación posible.

Los principales parámetros a tener en cuenta en el diseño son :

- Relación de recuperación
- Caudal del permeado por área de membrana (Flux)
- Número total de membranas
- Arreglo o disposición de las membranas
- Presión de alimentación

La relación de recuperación establece la cantidad de agua cruda a ser alimentada por unidad de permeado producido, las dimensiones del pretratamiento y el consumo de energía eléctrica y de productos químicos. También afecta la salinidad del permeado, la presión requerida y la concentración salina en la corriente de concentrado, siendo este un factor limitante de la relación de recuperación. Para aguas salobres valores típicos de recuperación pueden encontrarse entre un 50 a 75 %, dependiendo del tipo y

concentración de las especies químicas presentes. Para aguas de salinidades mayores como agua de mar, la recuperación puede encontrarse entre un 25 % a 45 %.

La relación de caudal por área de membrana o Flux, determina la concentración de sólidos solubles y sólidos suspendidos en la interfase agua de alimentación / membrana (concentración de polarización). El flujo axial promueve turbulencia, mezcla y ecualización de la concentración de las especies químicas. Valores altos de la concentración de polarización pueden dar como resultado la formación de precipitados y/o fouling por aglomeración de partículas.

Valores recomendados del Flux son dados a continuación:

Origen del agua de alimentación	Flux (l/m ² . h) Valores de diseño
Agua superficial (río, lago, mar)	13,6 - 23,8
Pozo	23,8 - 30,6
Permeado de ósmosis inversa (OI)	34,0 - 51,0

Finalmente, las membranas son instaladas en tubos de presión que pueden alojar desde 1 a 7 elementos de modo que quedan conectadas en serie. Un equipo de ósmosis inversa puede contener desde un tubo con una membrana hasta múltiples tubos con múltiples membranas. En la disposición en paralelo cada tubo es alimentado con el mismo caudal y todos trabajan a la misma recuperación. El concentrado de una primera etapa de ósmosis puede ser alimentado en cascada a un segundo sistema de membranas con el objetivo de disminuir la concentración de polarización. La disposición es de forma piramidal siendo la relación del número de tubos en las etapas subsecuentes del orden de 2: 1.

Con el propósito de obtener una mejor calidad de producto, es posible disponer los tubos de modo que el producto de una primera batería, sea alimentado a un segunda etapa. Habitualmente el concentrado de este segundo paso se retroalimenta a la alimentación del primero a fin de recuperar un agua con bajo contenido salino y lograr una recuperación eficiente del sistema. La bombas a ser utilizadas deben prever la pérdida de carga requerida en ambos pasos; se puede instalar una bomba para todo el sistema o una segunda bomba que represurice el producto del primer paso para ser alimentado al segundo. Como el agua alimentada al segundo paso es de muy alta calidad se puede trabajar con valores de Flux de 34 a 51 l/m². h

Los fabricantes de membranas de ósmosis inversa proveen programas (software) para el diseño de los sistemas.

3.3.3. Bombas

Habitualmente los sistemas de ósmosis inversa se diseñan con doble equipo de bombeo: Bomba de baja presión o de represurización y bomba de alta presión. Además pueden requerir la instalación de bombas dosificadoras para pre y/o post-tratamiento.

La primera tiene el propósito de asegurar la altura neta positiva necesaria en la aspiración de la bomba de alta, ya que hay una pérdida de carga en las etapas del pretratamiento que es necesario compensar. Estas bombas son de tipo centrífuga y se requiere habitualmente garantizar en el orden de 2 Bar en la aspiración de la bomba de alta presión.

La bomba de alta presión deberá ser seleccionada para garantizar la presión necesaria para vencer la presión osmótica de la solución y la correspondiente pérdida de carga en las membranas. Los programas de diseño permiten calcular la presión requerida para cada caso en particular.

Las bombas habitualmente utilizadas son del tipo centrífuga múltiple etapa, de desplazamiento positivo a paletas o de triple pistón. La selección de la misma es de vital importancia no sólo desde el punto de vista de la prestación requerida en cuanto a caudales y presiones sino también debe hacerse una correcta selección en cuanto a los materiales que la componen.

La selección del material de la bomba está directamente relacionada con los problemas de corrosión que pueden ocurrir por el contenido de sales del agua a tratar. Hay que tener en cuenta que no sólo se trata de preservar la vida útil de la unidad de bombeo sino también, que óxidos metálicos tanto solubles como particulados desprendidos de los equipos de bombeo puedan ingresar a las membranas y producir daños como formación de depósitos y erosión de las mismas.

Es frecuente el uso de bombas construidas en aceros inoxidables AISI 316 para la bomba de alta presión y también AISI 304, cuando se trata de aguas salobres. Cuando el agua a tratar presenta altos contenidos salinos y especialmente cloruros, como el caso de agua de mar o similares a ella pero de origen profundo, se recurre a aleaciones especiales del tipo cobre- níquel- aluminio.

Por último las bombas dosificadoras, habitualmente a diafragma, deben ser seleccionadas de acuerdo al tipo de solución de productos químicos a dosificar.

3.3.4. Pretratamiento

Un sistema de membranas requiere un acondicionamiento previo del agua a tratar para garantizar una correcta performance y vida útil. Se deberá prever fundamentalmente la formación de precipitados y el ensuciamiento y/o deterioro por abrasión.

Los iones que pueden formar depósitos son los que imprimen dureza al agua, tales como calcio, magnesio, no están incluidos en el concepto de dureza, que en presencia de aniones como bicarbonato y sulfato pueden alcanzar el producto de solubilidad (Kps) de las correspondientes sales, y crecer como cristales en la superficie de las membranas.

La sílice en forma soluble o coloidal, puede formar precipitados complejos amorfos, de muy difícil remoción.

En el segundo caso, la presencia de partículas en suspensión puede provocar el ensuciamiento de las membranas produciendo el taponamiento de los poros y como

consecuencia una disminución progresiva del rechazo salino y de la producción de permeado.

El diseño de un sistema de pretratamiento deberá estar de acuerdo a la calidad de agua a tratar. Requiere en principio una caracterización lo más completa posible, de la fuente o fuentes de provisión, a los fines del diseño.

Un esquema básico puede contemplar las siguientes etapas:

1). Coagulación y sedimentación

Cuando la presencia de la materia en suspensión se debe a coloides o compuestos orgánicos que le imprimen color y sabor al agua, de modo tal que por sedimentación y/o filtración no son eliminados, se debe recurrir a la dosificación de coagulantes para lograr que este material alcance un tamaño apropiado para poder luego sedimentar en un equipo diseñado "ad hoc".

En el caso de aguas que presenten altos contenidos de hierro y manganeso es adecuado combinar la oxidación previa mediante la dosificación, por ejemplo de hipoclorito de sodio, con la posterior sedimentación y filtración.

2). Filtración

Mediante filtros de multimedia. Se busca la retención de partículas en suspensión de tamaños mayores a 30 μm .

Los mantos filtrantes pueden ser simples, de arena clasificada, o duales de arena y antracita. Estos últimos han dado excelentes resultados.

En ambos casos los mantos son soportados por grava y gravillas de tamaño decreciente.

La operación de los mismos puede ser manual u automática. Su elección depende de consideraciones técnico- económicas.

3). Eliminación de dureza

Se cuenta genéricamente con dos alternativas, ablandamiento por resinas de intercambio o proceso cal-soda. La elección de una u otra alternativa requiere de una evaluación técnico-económica.

El ablandamiento mediante resinas de intercambio se realiza mediante equipos llamados Ablandadores que contienen resinas catiónicas fuertes, que consisten en un polímero de aspecto granulado que es el responsable de intercambiar iones como el calcio, magnesio y hierro soluble por iones sodio. Como resultado de este proceso, sólo quedan sales de sodio que tienen un producto de solubilidad muy alto por lo que no van a precipitar en las membranas de ósmosis inversa.

Como resultado de este intercambio las resinas se agotan y por lo tanto deberán ser regeneradas. El medio regenerante es una solución saturada de Cloruro de Sodio (Salmuera). Este proceso al igual que la operación del equipo podrá ser realizado en forma manual o automática.

El proceso cal-soda se basa en la adición de hidróxido de calcio y carbonato de sodio para lograr la remoción de la dureza temporaria o de bicarbonatos, por formación de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio; y de la dureza permanente o de sulfatos, por formación de sulfato de calcio. Las especies formadas son altamente insolubles por lo que posterior a su precipitación y luego de formados los cristales y alcanzar un tamaño de partícula adecuado, son removidos por sedimentación y posterior filtración.

Este proceso es particularmente adecuado cuando se requiere tratar altos caudales de agua con tenores de dureza muy altos y se dispone de espacio para los reactores sedimentadores.

4). *Acondicionamiento Químico*

Es otra alternativa posible para evitar que las sales promotoras de incrustaciones puedan precipitar en la superficie de las membranas. Se trata de la adición de acomplejantes orgánicos, del tipo de los fosfonatos; y/o de la adición de ácido para disminuir el pH de saturación del carbonato de calcio. Cabe mencionar que para algunas aguas se requiere la adición de ambos ya que presentan no sólo altos valores de dureza sino también sílice en concentraciones particularmente altas.

Los antiincrustantes disponibles en el mercado, son específicos para cada tipo de especies incrustantes por lo que se debe hacer una correcta selección del mismo, para evitar posteriores problemas, que pueden ser irreversibles.

La adición de ácido y/o antiincrustantes, se realiza en línea mediante una bomba dosificadora. La selección de uno u otro, o ambos, depende de las concentraciones de las sales incrustantes y deberá evaluarse en cada caso en particular. Al respecto, hay programas de diseño de los proveedores de membranas que permiten predecir el comportamiento del sistema para cada caso.

3.3.5. *Postratamiento*

a). *Contenido Salino*

Como el agua obtenida por el proceso de ósmosis inversa habitualmente presenta muy bajo contenido de sólidos solubles totales y por lo tanto no es adecuada para consumo humano, se deberá recurrir a la mezcla con agua cruda o a la resalinización artificial con sales preparadas "ad hoc".

La relación de mezcla estará limitada no sólo por el contenido de sales totales sino también por el ion limitante (contaminante o tóxico) de modo que la composición final del agua obtenida cumpla con los límites establecidos por el Código Alimentario Nacional o las Normas de aplicación.

La relación de mezcla puede ser calculada con las siguiente ecuaciones:

$$C_{im} = \frac{Q_c \cdot C_{ic} + Q_p \cdot C_{ip}}{Q_{mt}}$$

Donde:

Q_{mt} : caudal total de mezcla

Q_c : caudal de agua cruda a mezclar $Q_c = Q_{mt} - Q_p$

Q_p : caudal del permeado de la ósmosis inversa

C_{im} : concentración de la especie limitante en la mezcla < concentración máxima admisible para la especie i

C_{ic} : concentración de la especie i en el agua cruda

C_{ip} : concentración de la especie i en el producto de la ósmosis inversa.

b). pH

El agua producto de la ósmosis inversa es levemente ácida debido a que el anhídrido carbónico en equilibrio con los bicarbonatos del agua cruda no es rechazado por las membranas de ósmosis inversa. Podrá requerirse el ajuste del pH siempre y cuando luego de la mezcla con agua cruda o resalinización, el mismo resultare bajo de acuerdo a las especificaciones de las normas vigentes.

Las alternativas posibles son la decarbonatación mediante torre decarbonatadora o la alcalinización mediante la adición de solución de álcalis tales como Hidróxido de Sodio o Calcio (cal) con bomba dosificadora en línea.

La regulación de la bomba dosificadora podrá ser manual u automática para lo cual se requerirá de un peachímetro controlador con señal de salida para el comando de la misma. Esta opción es razonable cuando la fuente de suministro no es de calidad constante.

c). Desinfección

El agua producto mezclada y acondicionada, habitualmente es almacenada en cisternas para su acopio y posterior distribución. Como el agua producida no contiene ningún tipo de preservante, se requiere mantener la calidad microbiológica bajo control y por lo tanto será necesario prever un tratamiento de desinfección.

La calidad microbiológica del agua deberá ser garantizada hasta el punto de suministro.

Procedimientos tales como cloración, desinfección por luz ultravioleta u ozono, o una combinación de ellos son utilizados para tal propósito.

La ventaja de la desinfección con soluciones de cloro es que el mismo tiene un poder residual y permite mantener en condiciones sanitarias no sólo el agua producida sino también los tanques de acumulación y las líneas de distribución. La elección del método más apropiado depende del tipo de sistema de suministro y distribución del agua potabilizada.

3.3.6. *Parámetros a Controlar de un Sistema de Osmosis Inversa*

Pretratamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sólidos en suspensión ▪ Cloro libre, cloraminas ▪ Dureza ▪ PH
Osmosis Inversa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presiones ▪ Caudales ▪ Conductividad ▪ PH ▪ Temperatura
Postratamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mineralización ▪ Cloro ▪ Nivel bacteriológico ▪ Mezcla ▪ pH

3.3.7. *Mantenimiento de Plantas de Osmosis Inversa*

Mantenimiento Preventivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microfiltros ▪ Dosificación de químicos ▪ Lubricación ▪ Autoflush ▪ Enjuague y dosificación ▪ Registro histórico de parámetros de funcionamiento
Mantenimiento Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparación de bombas ▪ Regulación de presostatos ▪ Limpieza química de membranas ▪ Cambios de mantos

3.3.8. Fallas más Frecuentes en Sistemas de Ósmosis Inversa

Origen del problema	Causa posible	Acción correctiva
a) Cambio en la composición del agua cruda	<ul style="list-style-type: none"> Aumento en la concentración salina. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un nuevo análisis de agua. Agregar otra etapa de tratamiento al producto. Agregue etapas de pretratamiento antes de la ósmosis inversa.
b) Ensuciamiento (Fouling)	<ul style="list-style-type: none"> Presencia de material en suspensión. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un nuevo análisis de agua. Verificar el estado de las etapas filtrantes, realizar limpieza o cambio de mantos o cartuchos descartables.
c) Precipitación de sales	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la concentración salina. Se alcanza el producto de solubilidad de algunas sales. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un nuevo análisis de agua. Verificar la frecuencia de regeneración del ablandador. Agregar un sistema de dosificación de antiincrustante en línea.
d) Decloración insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> El sistema de dosificación no inyecta la suficiente cantidad de producto químico. La bomba inyecta excesivo producto químico. Se está inyectando una concentración inadecuada. 	<ul style="list-style-type: none"> Calibrar y corregir el número de emboladas de la bomba. Verificar el volumen y la concentración de los productos químicos usados en el tanque.

Tabla 2. Reducción de la producción de las membranas

Origen del problema	Causa posible	Acción correctiva
a) Presencia de gases disueltos	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la concentración de bicarbonatos en el agua cruda. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un nuevo análisis del agua cruda. Dosificación de alcali.
b) Decloración insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> Concentración excesiva de cloro. Envenenamiento del carbón activado. By-pass del filtro de carbón activado. Fuga de manto de carbón activado. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar la concentración de cloro. Cambio periódico del manto. Verificar el funcionamiento de la válvula multivía. Verificar el volumen del manto de carbón activado.

Tabla 3. Reducción del rechazo salino

Origen del problema	Causa posible	Acción correctiva
a) Cambio en la composición del agua cruda	<ul style="list-style-type: none"> Cambios estacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Obtener una fuente nueva de agua. Agregar pretratamiento previo a la OI.
b) Aumento de la temperatura del agua	<ul style="list-style-type: none"> Cambios estacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar que no se ha superado la temperatura máxima.
c) Decloración insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> Degradación prematura de las membranas. 	<ul style="list-style-type: none"> Calibrar y corregir la bomba dosificadora. Remover e inspeccionar las membranas de OI. Reemplazar las membranas si es necesario.
d) Falla en los sellos de los tubos	<ul style="list-style-type: none"> Inapropiada instalación, envejecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Reemplazo si es necesario.

Tabla 4. Aumento de producción de las membranas

Origen del problema	Causa posible	Acción correctiva
a) Cambio en las condiciones de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> Funcionamiento inadecuado del sistema hidroneumático. Válvulas en posición inadecuada. Bombas en operación inadecuada. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar la correcta apertura de válvulas. Verificar el correcto funcionamiento de los manómetros. Verificar el funcionamiento del presostato. Corroborar la correcta performance de las bombas.
b) Obturación de mantos filtrantes	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la turbiedad. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la frecuencia de retrolavado. Incorporación de una etapa previa de clarificación.
c) Obturación de los elementos filtrantes	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la concentración salina. Se alcanza el producto de solubilidad de algunas sales. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar el valor de turbiedad del agua cruda. Verificar la frecuencia de recambios de microfiltros. Confirmar que no exista fuga de partículas provenientes de los mantos de resina y/o carbón activado.
d) Aumento del caudal de la bomba de alta presión	<ul style="list-style-type: none"> Apertura inadecuada de la válvula de regulación de caudal. 	<ul style="list-style-type: none"> Colocar la regulación de la válvula en las condiciones de puesta en marcha.

Tabla 5. Corte por baja presión

Origen del problema	Causa posible	Acción correctiva
a) Aumento de la presión al ingreso de la O.I.	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio en la regulación de las válvulas. • Apertura inadecuada de las válvulas de drenaje. • Aumento del caudal de alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la posición de las válvulas de regulación de presión. • Verificar que se obtengan los caudales y las presiones preestablecidas • Verificar la apertura de la válvula de drenaje. • Verificar la regulación de caudal de la bomba de alta presión.

Tabla 6. Corte por alta presión en ósmosis inversa

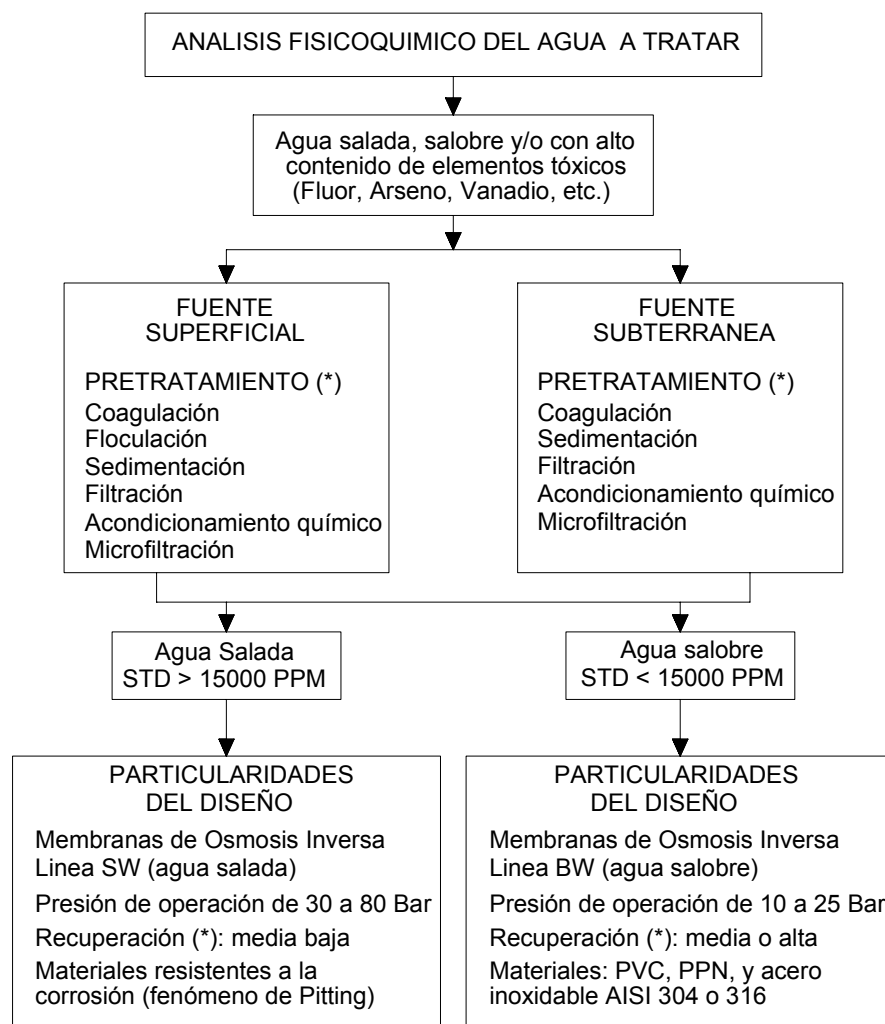
Origen del problema	Causa posible	Acción correctiva
a) Corte por relevo térmico	<ul style="list-style-type: none"> • El consumo del motor involucrado es mayor de admisible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar ausencia de alguna fase. • Verificar la adecuada tensión en cada fase. • Verificar el consumo del motor. • Verificar conexión y ajuste de terminales.

Tabla 7. Corte por sobrecarga eléctrica

3.3.9. Selección de Plantas de Ósmosis Inversa

Para el diseño de una planta de ósmosis inversa deben conocerse detalladamente las características del agua a tratar, ya que las mismas condicionarán no sólo la tecnología a utilizar (tipo de membranas, presión de operación, etc.) sino el pretratamiento requerido para asegurar la eficiencia del proceso y la duración de las membranas.

En el Proyecto Típico “Desalinización mediante ósmosis inversa” se incluye un “Pliego de Especificaciones Técnicas” que puede utilizarse como base para la redacción de la documentación necesaria para un concurso de precios destinado a la adquisición de una planta de ósmosis inversa.



(*) Dependen de la composición físicoquímica del agua a tratar.

3.4. DISPOSICIÓN FINAL DEL CONCENTRADO

Dada la importancia que, para la protección del ambiente de las zonas donde se emplacen plantas de potabilización, tiene la correcta disposición de los efluentes de las mismas, el tema se desarrolla en detalle en el Capítulo IX – “Tratamiento y Disposición de Residuos de Plantas de Potabilización y Reuso de Agua”.